

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international

PCT

(43) Date de la publication internationale  
29 janvier 2004 (29.01.2004)(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2004/010748 A1**(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
**H05H 13/00**

Yves [BE/BE]; Parvis de la Cantilène 2, B-1348 Louvain-la-Neuve (BE).

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/BE2003/000124

(74) Mandataires : VAN MALDEREN, Joëlle etc.; Office Van Malderen, Place Reine Fabiola 6/1, B-1083 Bruxelles (BE).

(22) Date de dépôt international : 18 juillet 2003 (18.07.2003)

(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(25) Langue de dépôt : français

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
02447140.1 22 juillet 2002 (22.07.2002) EP

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : ION BEAM APPLICATIONS S.A. [BE/BE]; Chemin du Cyclotron, 3, B-1348 Louvain-la-Neuve (BE).

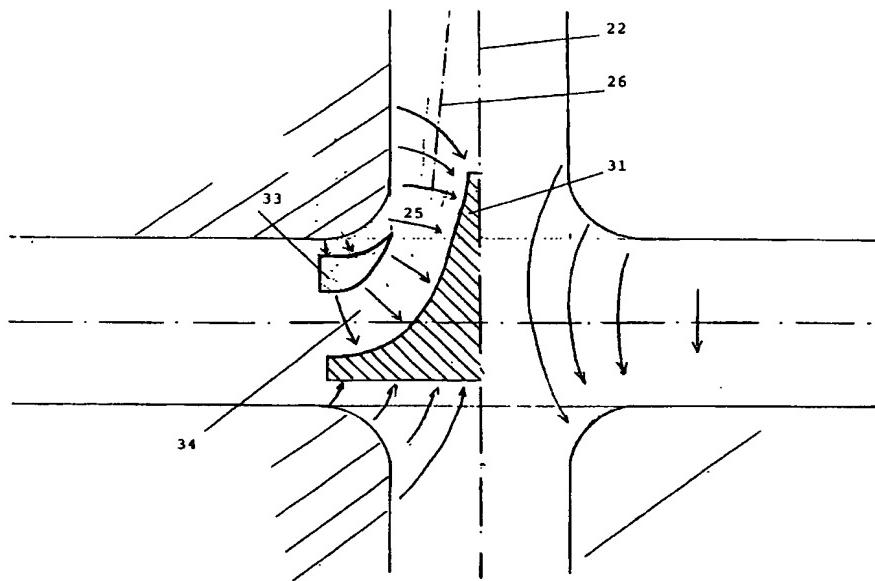
(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : JONGEN,

*[Suite sur la page suivante]*

(54) Title: CYCLOTRON EQUIPPED WITH NOVEL PARTICLE BEAM DEFLECTING MEANS

(54) Titre : CYCLOTRON MUNI DE NOUVEAUX MOYENS D'INFLXION DU FAISCEAU DE PARTICULES



(57) Abstract: The invention concerns a cyclotron for accelerating a charged particle beam circulating in the median plane essentially in the form of two poles inducing a magnetic field and having a so-called axial injector, that is an injector arranged outside the cyclotron substantially along the main axis of the cyclotron and hence perpendicular to the median plane thereof and which is combined with deflecting means which enable the particle beam to be deflected until it is positioned in the median plane. The invention is characterized in that the deflecting means consist of a magnetic deflector.

*[Suite sur la page suivante]*

WO 2004/010748 A1



TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,  
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

---

**(57) Abrégé :** La présente invention se rapporte à un cyclotron destiné à l'accélération d'un faisceau de particules chargées circulant dans le plan médian se présentant essentiellement sous la forme de deux pôles induisant un champ magnétique et possédant un injecteur dit axial, c'est-à-dire un injecteur disposé à l'extérieur du cyclotron essentiellement selon l'axe principal du cyclotron et donc perpendiculairement au plan médian de celui-ci et qui est combiné à des moyens d'inflexion qui permettent d'infléchir le faisceau de particules jusqu'à le positionner dans le plan médian, caractérisé en ce que les moyens d'inflexion sont constitués par un inflecteur magnétique.

CYCLOTRON MUNI DE NOUVEAUX MOYENS D'INFLEXION DU FAISCEAU  
DE PARTICULES

10 Objet de l'invention

[0001] La présente invention vise à proposer un cyclotron muni d'un nouveau type d'inflecteur utilisé pour "infléchir" un faisceau de particules chargées injectées axialement par un dispositif d'injection ou injecteur vers 15 le plan médian du cyclotron.

Etat de la technique

[0002] Les cyclotrons sont des accélérateurs de particules chargées utilisés en particulier pour la 20 production d'isotopes radioactifs. Ces cyclotrons sont basés sur les principes élémentaires de la force de Lorenz :  $F = qv \times B$  qui induit le fait qu'une particule chargée décrit essentiellement un arc de cercle dans un champ magnétique uniforme perpendiculaire au plan dans 25 lequel la particule chargée se déplace.

[0003] Les cyclotrons se composent de plusieurs ensembles principaux distincts, tels que l'électro-aimant qui assure le guidage des particules chargées, le résonateur haute fréquence qui assure l'accélération 30 desdites particules et enfin le système d'injection desdites particules dans le cyclotron.

[0004] La combinaison des différents moyens permet de réaliser une accélération des particules chargées qui

vont décrire dans le plan médian du cyclotron (perpendiculaire au champ magnétique) une trajectoire présentant approximativement une forme de spirale de rayon croissant autour de l'axe central (vertical) du cyclotron 5 qui est perpendiculaire au plan médian.

[0005] Dans les cyclotrons modernes de type isochrone, les pôles de l'électro-aimant sont divisés en secteurs présentant alternativement un entrefer réduit et un entrefer plus grand. La variation azimutale du champ 10 magnétique qui en résulte a pour effet d'assurer la focalisation verticale et horizontale du faisceau au cours de l'accélération.

[0006] Parmi les cyclotrons isochrones, il convient de distinguer les cyclotrons de type compact, qui sont 15 énergétisés par une paire de bobines circulaires principales et les cyclotrons dits à secteurs séparés, où la structure magnétique est divisée en unités séparées entièrement autonomes.

[0007] Le résonateur haute fréquence est quant à lui 20 constitué par les électrodes accélératrices, appelées fréquemment "dées" pour des raisons historiques. On applique ainsi aux électrodes une tension alternative de plusieurs dizaines de kilovolts à la fréquence de rotation des particules dans l'aimant.

[0008] Ces particules chargées accélérées par un cyclotron peuvent être des particules positives, tels que des protons, ou des particules négatives, telles que des ions H<sup>-</sup>.

[0009] Ces dernières particules (les ions H<sup>-</sup> en 30 l'occurrence) sont extraites en effectuant une conversion des ions négatifs en ions positifs en faisant passer ceux-ci à travers une feuille, par exemple de carbone, qui

a pour fonction de dépouiller les ions négatifs de leurs électrons.

[0010] Néanmoins l'accélération de telles particules négatives présente des difficultés importantes.

5 [0011] Le principal inconvénient réside dans le fait que les ions négatifs sont fragiles et sont de ce fait facilement dissociés par des molécules de gaz résiduel ou par les champs magnétiques importants traversés à haute énergie et présents dans le cyclotron.

10 [0012] De ce fait, il est impératif que le vide présent dans le cyclotron soit très poussé.

[0013] De même, le dispositif d'injection et la source sont, pour ces raisons, situés à l'extérieur du cyclotron. Ceci permet d'éviter toute pollution de 15 l'entrefer du cyclotron.

[0014] Une autre raison pour laquelle les dispositifs d'injection et source sont disposés à l'extérieur du cyclotron réside dans l'exiguïté de l'espace disponible au sein même du cyclotron.

20 [0015] Habituellement, les dispositifs d'injection et source sont disposés directement au-dessus de l'axe central du cyclotron de manière à injecter les particules générées selon une direction essentiellement verticale vers le centre du cyclotron, où elles seront infléchies 25 progressivement afin d'être dirigées dans le plan médian (horizontal) du cyclotron où elles subiront les diverses accélérations.

[0016] C'est pour cette raison que les cyclotrons sont appelés des cyclotrons à injecteur axial.

30 [0017] Il convient de noter que le dessin naturel du champ magnétique régnant dans le cyclotron étant lui-même vertical, l'injection du faisceau de particules se fera donc selon les lignes du champ magnétique et les particules

ne seront pas défléchies si on ne perturbe pas ledit champ magnétique.

[0018] Selon l'état de la technique, pour diriger le faisceau de particules de manière adéquate dans le plan médian, c'est-à-dire perpendiculairement à la direction d'injection, on propose de disposer dans le cyclotron des inflecteurs, qui infléchissent progressivement le faisceau.

[0019] Selon l'état de la technique, les inflecteurs connus sont des inflecteurs électrostatiques qui sont essentiellement constitués d'une électrode négative et d'une électrode positive entre lesquelles par une différence de potentiel un champ électrique est créé. Celui-ci va progressivement infléchir le faisceau de particules jusqu'à le positionner correctement de manière tangentielle dans le plan médian du cyclotron et donc perpendiculairement par rapport à sa direction d'arrivée.

[0020] En réalité, le faisceau de particules effectue un mouvement en hélice spiralée.

[0021] En effet, dès que sous l'effet du champ électrique essentiellement horizontal, régnant entre les électrodes à l'entrée de l'inflecteur électrostatique, les particules chargées acquièrent une composante de vitesse dans le plan horizontal, et elles sont soumises à la force de Lorentz.

[0022] La combinaison des deux composantes génère un mouvement en spirale du faisceau de particules au sein de la partie centrale du cyclotron.

[0023] Des exemples de tels dispositifs sont décrits abondamment dans la littérature. En particulier, le document NL - A - 9302257 décrit ce type d'inflecteur.

[0024] La présence d'un tel inflecteur destiné à permettre l'introduction du faisceau de particules par l'axe central (vertical) génère la présence d'un trou dans

l'entrefer et perturbe de ce fait le champ magnétique vertical.

[0025] Les autres inconvénients résident dans le fait que ces électrodes doivent être soumises à une 5 différence de potentiel d'autant plus importante que l'intensité du faisceau de particules sera importante.

[0026] Or la tendance actuelle est de vouloir augmenter l'intensité des faisceaux qui est pour l'instant comprise entre 300 et 500  $\mu\text{A}$  jusqu'à des valeurs qui 10 peuvent atteindre quelques mA.

[0027] Un autre problème important réside dans le fait que pour augmenter l'intensité du faisceau de particules, on augmente la charge d'espace, c'est-à-dire la densité de charge électrique provoquant ainsi la 15 répulsion électrostatique des charges et par là un élargissement du faisceau (charges électriques provoquées par la présence de nombreuses particules chargées qui se repoussent mutuellement dans un espace, causant ainsi une augmentation de la taille du faisceau). Cette charge 20 d'espace dépend bien entendu de l'intensité de la vitesse du faisceau. Pour diminuer la charge d'espace, il est donc nécessaire d'augmenter la vitesse des particules chargées à partir du dispositif d'injection et donc la tension d'injection.

25 [0028] Ceci signifie qu'il serait également nécessaire d'augmenter les tensions des électrodes de l'inflecteur qui sont de l'ordre de 5 kV pour l'instant, à des valeurs proches de 15 kV, voire plus, par exemple quelques dizaines de kilovolts.

30 [0029] Ceci, bien entendu, serait la cause de toute une série de problèmes inhérents aux électrodes, comme particulièrement des problèmes d'isolation insuffisante ou de claquage desdites électrodes.

[0030] Un dernier problème provient du fait de la symétrie de révolution du cyclotron isochrone qui comprend une alternance de collines et de vallées.

[0031] Pour ce type de cyclotrons, la focalisation s'effectue par gradients alternés et est particulièrement délicate au centre du cyclotron du fait que l'effet de modulation du champ dû aux collines et vallées disparaît au centre du cyclotron. Pour remédier à ce manque de focalisation, on souhaite placer une bosse de champ à cet endroit. La présence du trou axial requis par l'injection du faisceau s'oppose à la création d'une telle bosse de champ.

[0032] On connaît par les documents GOTO A ET AL : « Design of injection system for the IPCR SSC. II » Scientific papers of the Institut of Physical and Chemical Research, Dec. 1980, Japan, vol. 74, no. 4, pages 124-145 et YANO Y ET AL: "Design and Model Study of injection bending magnet for RIKEN SSC" Scientific Papers of the Institut of Physical and Chemical Research, Dec. 1981, Japan, vol 75, no. 4, pages 176-192 un cyclotron à secteurs séparés, muni d'un dispositif d'injection comportant une multiplicité d'électro-aimants de déviation. Ce dispositif n'est applicable qu'aux cyclotrons à secteurs séparés, puisque les électro-aimants de déviation requièrent un espace qui n'est pas disponible dans la région centrale d'un cyclotron compact. Des courants importants sont nécessaires pour alimenter ces aimants de déviation. Le trajet de l'injection se fait verticalement, puis à 45°, dans l'espace compris entre deux secteurs du cyclotron à secteurs séparés, à une distance de l'axe de la machine.

Buts de l'invention

[0033] La présente invention vise à proposer une solution qui permette de surmonter les différents inconvénients de l'état de la technique.

5 [0034] La présente invention vise en particulier à proposer un cyclotron présentant un nouveau type d'inflecteur qui permet d'infléchir progressivement le faisceau de particules chargées provenant d'un dispositif d'injection ou injecteur extérieur disposé axialement par 10 rapport au centre du cyclotron vers le plan médian dudit cyclotron en vue de les soumettre aux accélérations.

[0035] Plus précisément, la présente invention vise à proposer un cyclotron muni d'un nouveau type d'inflecteur qui permet de résoudre le problème de la présence d'une 15 « bosse » de champ au centre dudit cyclotron dans le cas d'un cyclotron isochrone.

Principaux éléments caractéristiques

[0036] La présente invention se rapporte à un 20 cyclotron destiné à l'accélération d'un faisceau de particules chargées présentant un injecteur dit axial, c'est-à-dire disposé à l'extérieur du cyclotron et perpendiculairement par rapport au plan médian et selon l'axe central dudit cyclotron, qui combiné à des moyens 25 d'inflexion qui infléchissent le faisceau de particules progressivement permet de positionner le faisceau dans le plan médian, où les particules subiront de manière classique les accélérations nécessaires. Ces moyens d'inflexion sont disposés essentiellement à l'intersection 30 du plan médian et de l'axe du cyclotron.

[0037] Selon la présente invention, ces moyens d'inflexion sont constitués par un inflecteur magnétique, c'est-à-dire un ou des éléments qui permettent de donner une composante horizontale ou radiale au champ magnétique,

de manière à guider le faisceau de particules chargées progressivement vers le plan médian.

[0038] Selon une première forme d'exécution, on choisit simplement comme moyens d'inflexion des éléments ferro-magnétiques disposés de manière à créer un champ d'induction présentant une composante horizontale ou radiale et qui sont solidaires des pôles du cyclotron.

[0039] Selon une autre forme d'exécution préférée, on utilise des anneaux ou rondelles constitués de blocs collés d'un matériau ne modifiant pas le champ magnétique axial.

[0040] Ce matériau est de préférence un aimant permanent fort réalisé dans un alliage tel un alliage Samarium-Cobalt ou Néodyme-Fer-Bore.

15 [0041] En disposant correctement ces anneaux ou rondelles, on prévoit de donner une composante horizontale ou radiale au champ magnétique en permettant ainsi de guider le faisceau de particules chargées, de manière à ce qu'il s'infléchisse progressivement vers le plan médian.

20

#### Brève description des figures

[0042] La figure 1 représente une vue schématique en perspective d'un cyclotron isochrone dans lequel un inflecteur selon la présente invention pourra être utilisé.

25 [0043] La figure 2 décrit une vue en coupe d'un tel cyclotron.

[0044] La figure 3a et 3b représentent une vue détaillée en plan et en perspective d'une première forme d'exécution d'un inflecteur selon la présente invention.

30 [0045] La figure 4 représente une vue détaillée d'une seconde forme d'exécution d'un inflecteur selon la présente invention.

[0046] La figure 5 montre un anneau en Sm-Co utilisée selon une forme d'exécution préférée de l'invention décrite à la figure 4.

5 Description détaillée de plusieurs formes d'exécution de l'invention

[0047] Les figures 1 et 2 décrivent un exemple d'un cyclotron qui peut utiliser les inflecteurs selon les diverses formes d'exécution décrites ci-dessous.

10 [0048] Le cyclotron 1, tel que représenté, est un cyclotron isochrone compact tel le cyclone 30 produit par la demanderesse destiné à l'accélération de particules négatives, tels que des H<sup>-</sup>.

15 [0049] La structure magnétique du cyclotron 1 est représentée à la Fig. 1 de manière verticale. Dans la description qui suit cette structure magnétique est disposée de manière que le plan médian soit essentiellement horizontal. Elle se compose d'un certain nombre d'éléments réalisés en un matériau ferro-magnétique et de bobines 6 20 réalisées dans un matériau conducteur ou supra-conducteur.

[0050] La structure ferro-magnétique comprend de manière classique :

- deux plaques de base appelées culasses 2 et 2',
- au moins trois secteurs 3 supérieurs appelés collines et 25 un même nombre de secteurs inférieurs 3' situés symétriquement par rapport à un plan de symétrie 10, appelé plan médian aux secteurs supérieurs 3, et qui sont séparés par un faible entrefer 8, et définissant entre deux collines consécutives un espace où l'entrefer 30 est de dimension plus élevée et qui est appelé vallée 4,
- au moins un retour de flux 5 réunissant de façon rigide, la culasse inférieure 2 à la culasse supérieure 2'.

[0051] Les bobines 6 sont de forme essentiellement circulaire et sont localisées dans l'espace annulaire laissé entre les secteurs 3 et 3' et les retours de flux 5.

[0052] Un dispositif d'injection 100 est disposé de manière essentiellement axiale, c'est-à-dire à une certaine distance à l'extérieur du cyclotron par rapport au plan médian 10. De manière adéquate, ce dispositif d'injection est situé dans le prolongement de l'axe central du cyclotron.

[0053] Un conduit central 20 est alors créé dans la culasse, par exemple supérieure, de manière à permettre que les particules chargées soient injectées au centre de l'appareil.

[0054] De cette manière, le faisceau de particules chargées sera injecté dans ledit conduit et sera ensuite dirigé à l'aide d'éléments d'inflexion jusqu'à se positionner dans le plan médian dudit cyclotron.

[0055] Dans ce but, un inflecteur 30 est disposé essentiellement dans l'entrefer au niveau du conduit central et permettra d'infléchir progressivement le faisceau de particules provenant du dispositif d'injection 100 vers le plan médian 10.

[0056] Selon la présente invention, le cyclotron présente des moyens d'inflexion ou un inflecteur magnétiques. La caractéristique essentielle de la présente invention réside donc dans le fait que ce genre d'inflecteur ne génère pas de champ électrique au centre du cyclotron. L'inflecteur selon la présente invention est composé de matériaux magnétiques, c'est-à-dire de matériaux ferro-magnétiques ou d'aimants permanents, qui vont perturber le champ magnétique axial du cyclotron, en créant ainsi une composante horizontale ou radiale dudit champ qui va infléchir progressivement le faisceau selon le trajet souhaité.

[0057] Selon une première forme d'exécution décrite aux figures 3a et 3b, un tel inflecteur est constitué de pièces formant le circuit magnétique dans la zone centrale du cyclotron. Ces pièces sont solidaires des pôles et sont 5 réalisées en un matériau ferro-magnétique permettant d'introduire une composante horizontale ou radiale au champ magnétique.

[0058] Selon une variante de cette forme d'exécution préférée, les moyens d'inflexion sont constitués d'un 10 premier élément 31 en forme de cône et dont l'axe de symétrie coïncide avec l'axe 22 du cyclotron et d'un deuxième élément 33 essentiellement sous la forme d'un anneau, avec le même axe de symétrie, et qui entoure essentiellement le cône 31, de manière à former un espace 15 annulaire 34 entre les deux éléments 31 et 33. Ces éléments sont nécessairement réalisés en un matériau ferro-magnétique, tel qu'un acier à bas taux de carbone ou un alliage fer-cobalt.

[0059] Leur disposition va créer une perturbation du 20 champ magnétique 25 entre les pôles du cyclotron qui va permettre l'inflexion souhaitée du faisceau 26 selon un trajet essentiellement en forme d'hélice spiralée jusqu'à le positionner de manière adéquate dans le plan médian.

[0060] Pour arriver à ce résultat, une composante 25 radiale du champ magnétique est donc créée par les moyens d'inflexion. On voit, comme représenté à la figure 3a, qu'une telle composante radiale sera créée grâce à la forme spécifique des éléments 31 et 33.

[0061] Le faisceau de particules aura tendance à 30 s'infléchir selon un trajet en forme d'hélice spiralée tel que représenté à la Fig. 3b.

[0062] Du fait que le faisceau arrive essentiellement par la partie supérieure située au-dessus des éléments d'inflexion, il doit être légèrement défléchi

par rapport à l'axe central (et vertical) du cyclotron lors de son passage entre lesdits moyens d'inflexion. Dans ce but, des bobines de guidage 28 ou d'autres dispositifs de déflexion adéquats doivent être présents au-dessus des 5 éléments d'inflexion.

[0063] Selon une autre forme d'exécution décrite à la figure 4, les moyens d'inflexion sont constitués par des anneaux ou rondelles qui permettent également de donner une composante horizontale au champ magnétique. Lesdits 10 anneaux 40 sont construits à partir de petits éléments 41 qui sont de préférence des aimants Samarium-Cobalt.

[0064] Comme représenté à la figure 5, chaque anneau est réalisé à partir d'éléments 41, qui sont tous des aimants permanents avec des orientations individuelles du 15 champ magnétique qui évoluent progressivement le long du périmètre de l'anneau.

[0065] De cette manière, un champ uniforme 42 est réalisé à l'intérieur de l'anneau 40. Grâce aux caractéristiques du matériau utilisé, un anneau tel que 20 représenté à la figure 5, disposé au centre du cyclotron, ne perturbera pas le champ magnétique essentiellement axial (vertical) qui est présent dans l'entrefer du cyclotron, à l'exception de l'espace situé à l'intérieur de l'anneau. A cet endroit, une composante additionnelle du champ 25 magnétique est créée. En disposant adéquatement lesdits anneaux, on pourra infléchir progressivement le faisceau de particules jusqu'à le disposer dans le plan médian.

[0066] La solution, telle que représentée à la figure 4 et 5 et qui correspond à la seconde forme 30 d'exécution, permet par la disposition d'une série d'aimants en forme d'anneaux au centre du cyclotron d'infléchir progressivement le faisceau provenant de l'injecteur axial selon un trajet formé par le point

central des anneaux successifs. Ce trajet est symbolisé par une spirale.

[0067] Selon cette dernière forme d'exécution, la solution présentera l'avantage de ne pas exiger la présence 5 de dispositifs de déflexion, telles que des bobines de guidage, en amont des éléments d'infexion.

[0068] Un exemple d'exécution permet d'envisager l'accélération de particules H<sup>-</sup> dans un cyclotron de 115 MeV pour une énergie d'injection de 80 kV. Le champ 10 magnétique au centre sera  $B_c = 0,811 \text{ T}$  avec une rigidité magnétique de 4,15 T.cm. Le rayon du centre du cyclotron sera 5,12 cm et le rayon de raccordement sera compris entre 6 et 7 cm.

REVENDICATIONS

1. Cyclotron (1) destiné à l'accélération d'un faisceau (16) de particules chargées circulant dans le plan médian (10) se présentant essentiellement sous la forme de deux pôles induisant un champ magnétique et possédant un injecteur (100) dit axial, c'est-à-dire un injecteur disposé à l'extérieur du cyclotron essentiellement selon l'axe principal (22) du cyclotron et donc perpendiculairement au plan médian de celui-ci et qui est combiné à des moyens d'inflexion (30 ou 40) qui permettent d'infléchir le faisceau de particules jusqu'à le positionner dans le plan médian, caractérisé en ce que les moyens d'inflexion sont constitués par un inflecteur magnétique.

2. Cyclotron selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens d'inflexion donnent une composante horizontale ou radiale au champ magnétique au niveau du centre du cyclotron permettant ainsi de guider le faisceau de particules chargées de manière à ce qu'il s'infléchisse progressivement vers le plan médian.

3. Cyclotron selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens d'inflexion sont constitués par des éléments ferro-magnétiques (31 et 33), de préférence solidaires aux deux pôles.

4. Cyclotron selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdits moyens d'inflexion comprennent un premier élément en forme de cône (31) et un second élément en forme d'anneau (33) entourant une partie dudit cône.

5. Cyclotron selon la revendication 4, dans lequel les axes de symétrie desdits éléments coïncident avec l'axe de symétrie du cyclotron.

6. Cyclotron selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend en outre en amont des moyens d'inflexion des éléments de guidage (28) dudit faisceau.

5 7. Cyclotron selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens d'inflexion sont constitués par des anneaux ou rondelles (40) assemblés à partir d'éléments individuels qui sont des aimants permanents.

10 8. Cyclotron selon la revendication 7, dans lequel lesdits aimants permanents sont réalisés en un alliage tel un alliage Samarium-Cobalt ou Neodyme-Fer-Bore.

15 9. Cyclotron selon la revendication 8 ou 9, dans lequel lesdits moyens d'inflexion sont constitués d'une série d'anneaux dont les points centraux forment une trajectoire en forme d'hélice spiralée.

10/522649

Rec'd PCT/PTO 21 JAN 2005  
PCT/BE2003/000124

WO 2004/010748

1/5

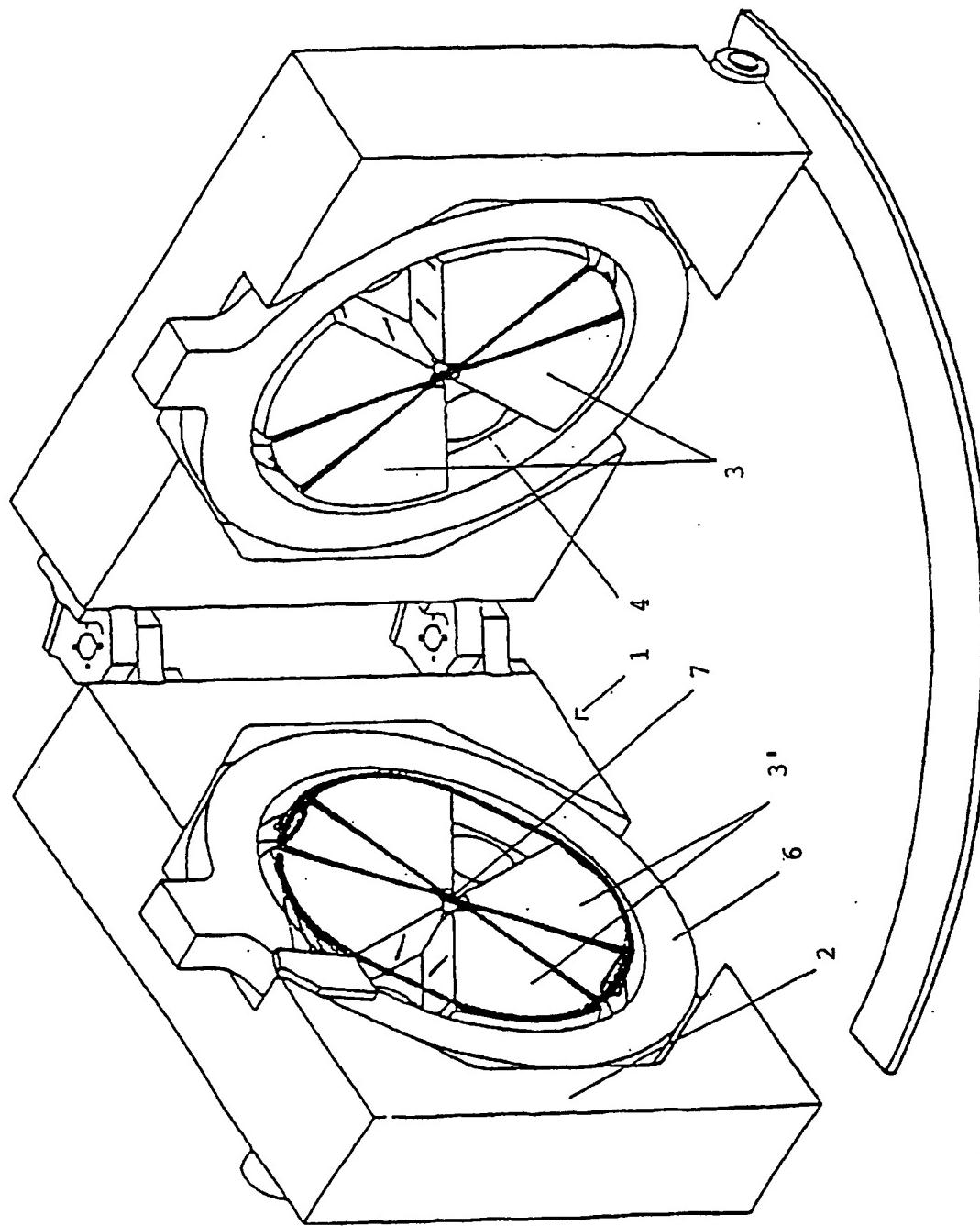


FIG. 1

2/5

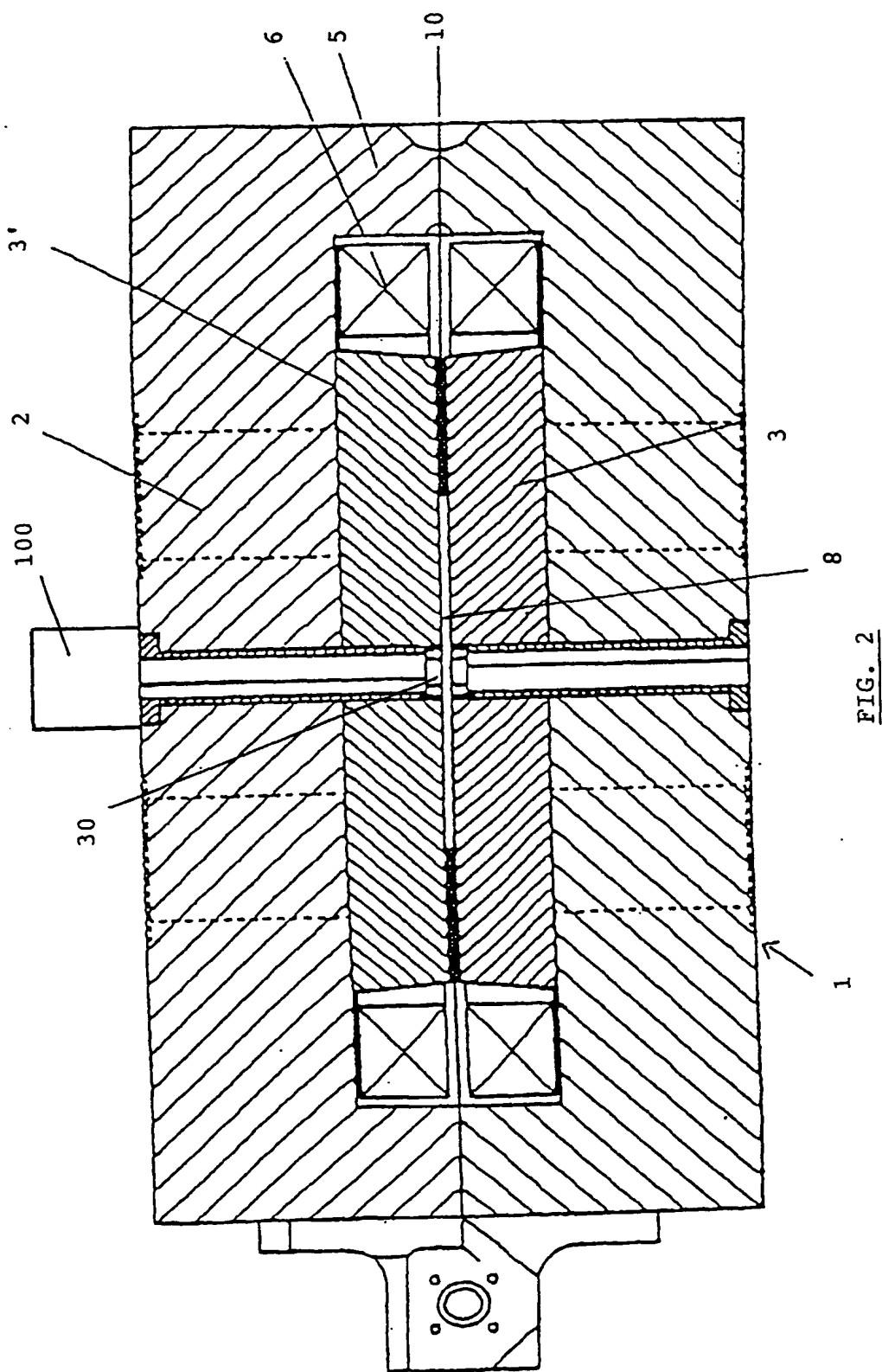


FIG. 2

3/5

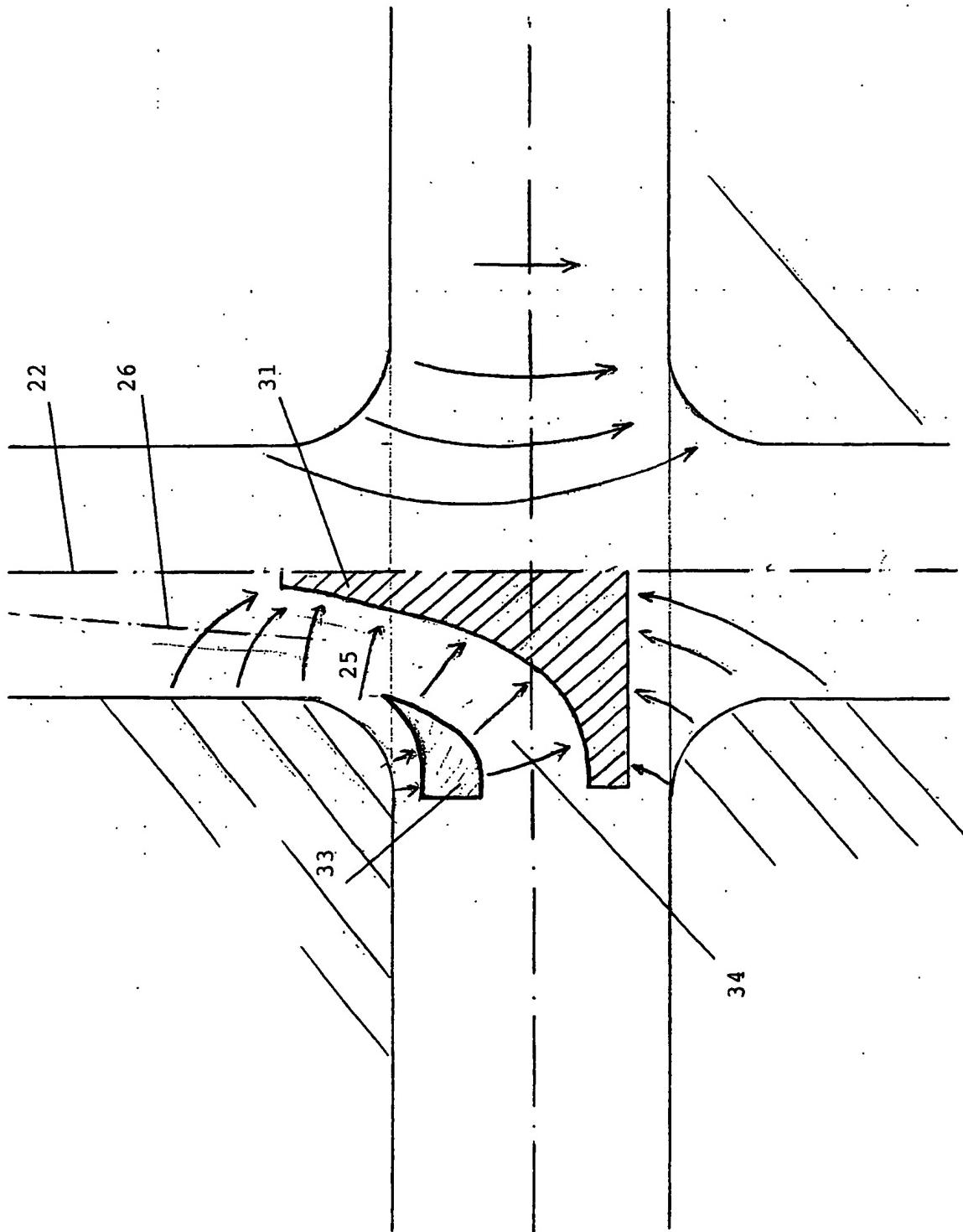


FIG. 3a

BEST AVAILABLE COPY

10/522649  
Rec'd PCT/PTO 21 JAN 2005  
PCT/BEST2003/000124

WO 2004/010748

4/5

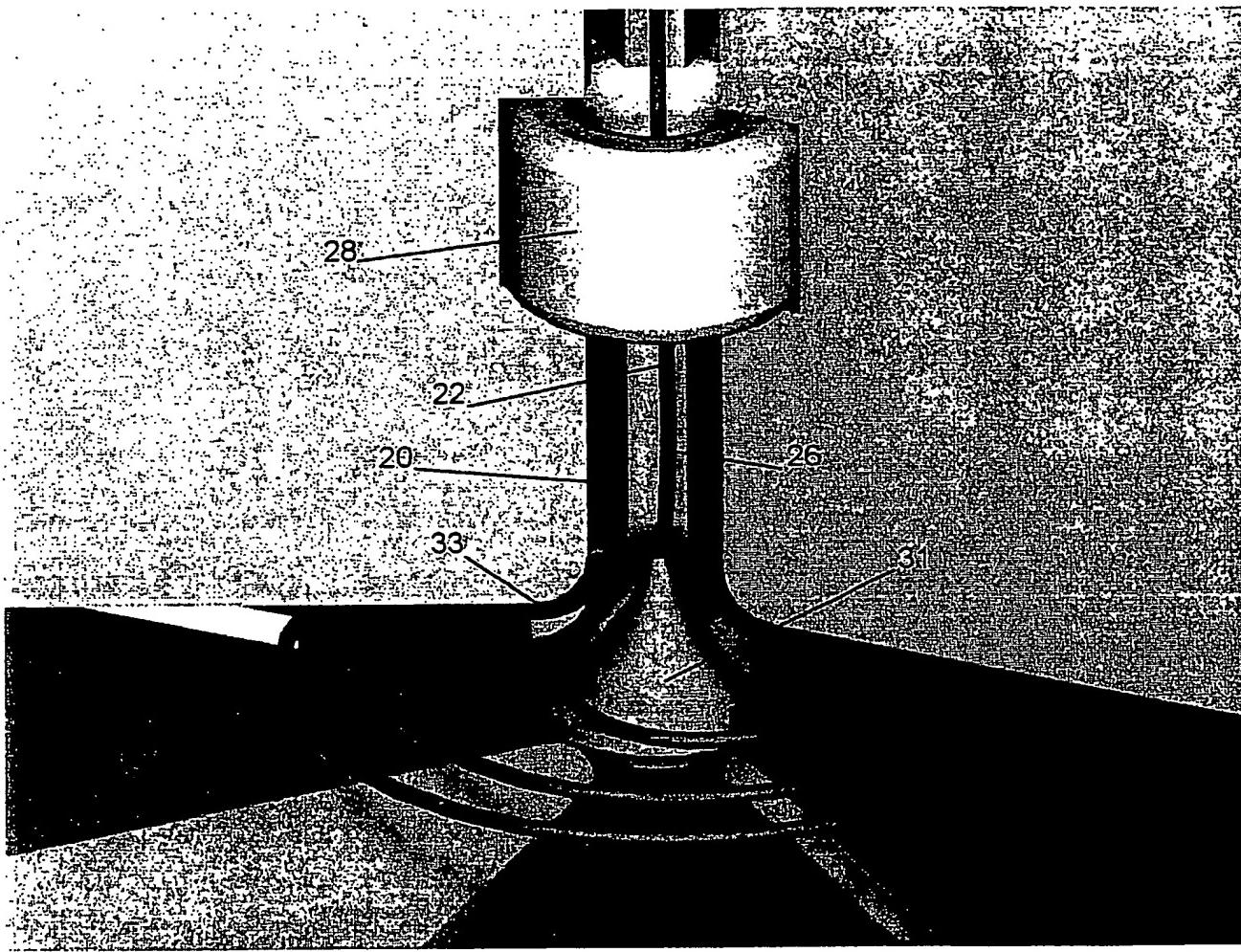


FIG. 3b

BEST AVAILABLE COPY

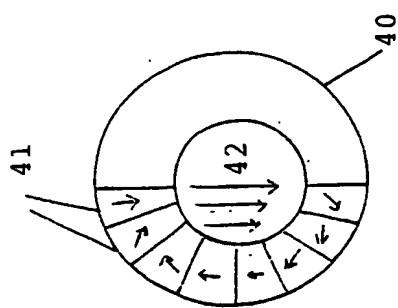
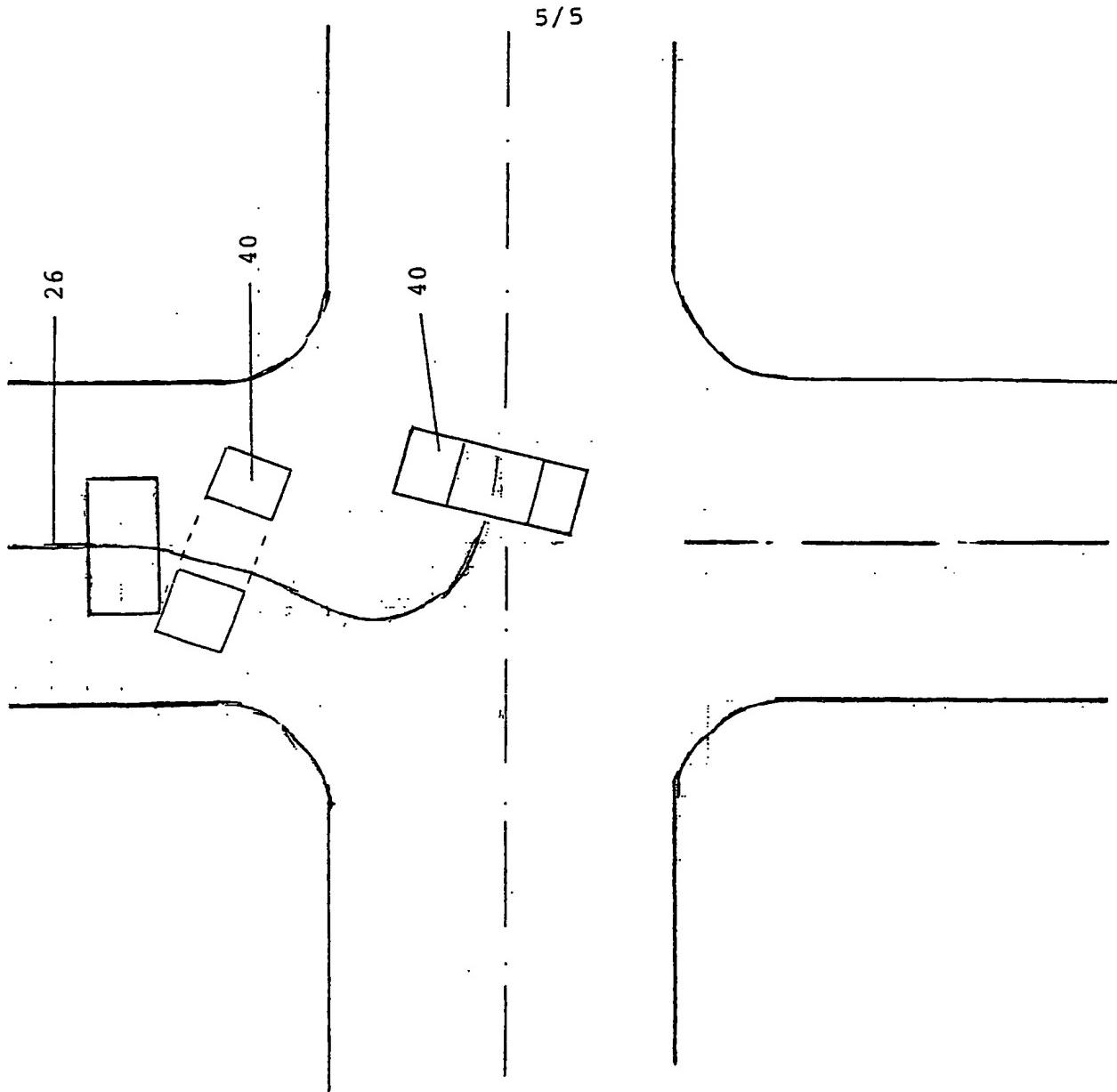


FIG. 5

BEST AVAILABLE COPY

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Rec'd PCT/PTO 21 JAN 2005

In International Application No

PCT/BE 03/00124

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H05H13/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H05H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>GOTO A ET AL: "Design of injection system for the IPCR SSC. II"  SCIENTIFIC PAPERS OF THE INSTITUTE OF PHYSICAL AND CHEMICAL RESEARCH, DEC. 1980, JAPAN,  vol. 74, no. 4, December 1980 (1980-12),  pages 124-145, XP008010174  ISSN: 0020-3092  cited in the application  page 124, paragraph 1 - page 128, last  paragraph  page 144, paragraph 2  figure 1</p> <p>-----</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	1,2

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 October 2003

Date of mailing of the international search report

31/10/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Capostagno, E

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/BE 03/00124

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	YANO Y ET AL: "Design and model study of injection bending magnet for RIKEN SSC" SCIENTIFIC PAPERS OF THE INSTITUTE OF PHYSICAL AND CHEMICAL RESEARCH, DEC. 1981, JAPAN, vol. 75, no. 4, December 1981 (1981-12), pages 176-192, XP008010173 ISSN: 0020-3092 cited in the application page 176, paragraph 1 -----	1,2
A	TOMINAKA T ET AL: "Design study of the injection and extraction elements for the RIKEN superconducting ring cyclotron" PROCEEDINGS OF THE 1997 PARTICLE ACCELERATOR CONFERENCE (CAT. NO.97CH36167), PROCEEDINGS OF THE 1997 PARTICLE ACCELERATOR CONFERENCE, VANCOUVER, BC, CANADA, 12-16 MAY 1997, 12 May 1997 (1997-05-12), pages 3440-3442 vol.3, XP002224450 1998, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-4376-X page 3440, left-hand column, paragraph 1 - paragraph '0002! -----	1-3,8
A	EP 0 853 867 A (ION BEAM APPLIC SA) 22 July 1998 (1998-07-22) the whole document -----	1
A	NL 9 302 257 A (WILLEM JAN GERARD MARIE KLEEVE) 17 July 1995 (1995-07-17) cited in the application the whole document -----	1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int'l Appl. No.

PCT/BE 03/00124

Patent document cited in search report	Publication date		Patent family member(s)	Publication date
EP 0853867	A	22-07-1998	BE 1009669 A3 DE 69603497 D1 DE 69603497 T2 DK 853867 T3 EP 0853867 A1 GR 3031392 T3 JP 11513528 T US 6057655 A AT 182739 T WO 9714279 A1 CA 2227228 A1 ES 2135918 T3	03-06-1997 02-09-1999 03-02-2000 13-03-2000 22-07-1998 31-01-2000 16-11-1999 02-05-2000 15-08-1999 17-04-1997 17-04-1997 01-11-1999
NL 9302257	A	17-07-1995	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De la recherche internationale No

PCT/BE 03/00124

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 H05H13/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H05H

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>GOTO A ET AL: "Design of injection system for the IPCR SSC. II"  SCIENTIFIC PAPERS OF THE INSTITUTE OF PHYSICAL AND CHEMICAL RESEARCH, DEC. 1980, JAPAN,  vol. 74, no. 4, décembre 1980 (1980-12),  pages 124-145, XP008010174  ISSN: 0020-3092  cité dans la demande  page 124, alinéa 1 - page 128, dernier alinéa  page 144, alinéa 2  figure 1</p> <p>-----</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	1,2



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou clé pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

23 octobre 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

31/10/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Capostagno, E

## RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Document internationale No  
PCT/BE 03/00124

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	YANO Y ET AL: "Design and model study of injection bending magnet for RIKEN SSC" SCIENTIFIC PAPERS OF THE INSTITUTE OF PHYSICAL AND CHEMICAL RESEARCH, DEC. 1981, JAPAN, vol. 75, no. 4, décembre 1981 (1981-12), pages 176-192, XP008010173 ISSN: 0020-3092 cité dans la demande page 176, alinéa 1 -----	1,2
A	TOMINAKA T ET AL: "Design study of the injection and extraction elements for the RIKEN superconducting ring cyclotron" PROCEEDINGS OF THE 1997 PARTICLE ACCELERATOR CONFERENCE (CAT. NO.97CH36167), PROCEEDINGS OF THE 1997 PARTICLE ACCELERATOR CONFERENCE, VANCOUVER, BC, CANADA, 12-16 MAY 1997, 12 mai 1997 (1997-05-12), pages 3440-3442 vol.3, XP002224450 1998, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-4376-X page 3440, colonne de gauche, alinéa 1 - alinéa '0002! -----	1-3,8
A	EP 0 853 867 A (ION BEAM APPLIC SA) 22 juillet 1998 (1998-07-22) Le document en entier -----	1
A	NL 9 302 257 A (WILLEM JAN GERARD MARIE KLEEVE) 17 juillet 1995 (1995-07-17) cité dans la demande Le document en entier -----	1

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

De la recherche internationale No

PCT/BE 03/00124

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0853867	A 22-07-1998	BE 1009669 A3 DE 69603497 D1 DE 69603497 T2 DK 853867 T3 EP 0853867 A1 GR 3031392 T3 JP 11513528 T US 6057655 A AT 182739 T WO 9714279 A1 CA 2227228 A1 ES 2135918 T3	03-06-1997 02-09-1999 03-02-2000 13-03-2000 22-07-1998 31-01-2000 16-11-1999 02-05-2000 15-08-1999 17-04-1997 17-04-1997 01-11-1999
NL 9302257	A 17-07-1995	AUCUN	